

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
Отдел радиационной и химической биологии
Крымское отделение Гидробиологического общества при РАН

**Посвящается 90-летию со дня рождения
Геннадия Григорьевича Поликарпова**

РАДИОХЕМОЭКОЛОГИЯ: УСПЕХИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

МАТЕРИАЛЫ ЧТЕНИЙ
ПАМЯТИ АКАДЕМИКА Г.Г. ПОЛИКАРПОВА
Севастополь, 14-16 августа 2019 г.



Севастополь
2019

**Восстановление тяжелых металлов и радионуклидов
сульфатредуцирующими и галоалкалофильными бактериями
в лабораторных модельных условиях
с целью биоремедиации загрязненных вод**

Хижняк Т.В.¹, Брюханов А.Л.²

¹ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского, г. Москва, Россия, tanya_khijniak@mail.ru

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, г. Москва, Россия, brjuchanov@mail.ru

Загрязнение окружающей среды, в особенности, водных запасов токсичными тяжелыми металлами, металлоидами и радионуклидами является очень большой проблемой современности, причем серьезные опасения вызывают хранилища отходов большого объема и с низкой концентрацией радиоактивных веществ. Особую опасность представляют долгоживущие радионуклиды или тяжелые металлы/металлоиды с переменной валентностью, обладающие повышенной мобильностью в окружающей среде в окисленном состоянии. Например, уран или технеций мигрируют с грунтовыми водами в форме уранил- или пертехнетат иона. Биологическая очистка (биоремедиация) таких промышленных отходов – наиболее перспективный способ на сегодня. Микроорганизмы способны не только к пассивной адсорбции или комплексообразованию металлов и радионуклидов на клеточной поверхности, но и к активной трансформации переменного-валентных элементов, например, к восстановлению хроматов, ванадатов, селенатов, пертехнетатов или $U^{+6} \rightarrow U^{+4}$: такие процессы осуществляют *Geobacter metallireducens*, *Shewanella putrefaciens*, ряд представителей сульфатредуцирующих бактерий (*Desulfovibrio* spp.) и клостридий. В большинстве опубликованных работ показано восстановление металлов и/или радионуклидов в нейтральных условиях среды с низкой соленостью, однако большое количество отходов имеют щелочной pH и повышенную соленость.

При использовании сульфатредуцирующих бактерий в процессах биоремедиации отходов имеются значительные преимущества, поскольку возможно как прямое восстановление металлов, металлоидов или радионуклидов до нетоксичных мало- или нерастворимых форм, так и их химическое осаждение в виде сульфидов. Так, в нейтральных условиях среды было показано эффективное восстановление TcO_4^- (вплоть до концентраций 0,25 мМ) клетками *Desulfovibrio desulfuricans* благодаря наличию периплазматической гидрогеназы, а также была разработана и испытана модельная лабораторная система на основе иммобилизованных клеток для удаления пертехнетатов из растворов. Показано, что в анаэробных щелочных условиях галоалкалофильные гетеротрофные бактерии рода *Halomonas* эффективно восстанавливают TcO_4^- до Tc(IV) и способны к активной денитрификации. Наши модельные эксперименты по восстановлению хроматов обнаружили крайне высокую эффективность восстановления шестивалентного хрома и осаждения нерастворимых продуктов, содержащих Cr(III), как галоалкалофильными бактериями рода *Halomonas*, так и сульфатредуцирующими бактериями рода *Desulfovibrio* (включая штамм, выделенный из акватории г. Севастополь). Хромат восстанавливался в течение 30-60 мин как в ростовых, так и в неростовых условиях, в концентрациях вплоть до 1 мМ.

Исследованные бактерии оказались устойчивы к высоким концентрациям тяжелых металлов, способны использовать широкий спектр доноров электронов, обладают металлоредуктазными активностями и, таким образом, могут быть крайне перспективны при разработке эффективных и экологически безопасных систем биологической очистки сточных и промышленных отходов, содержащих токсичные оксоанионы тяжелых металлов и металлоидов, а также радионуклиды.

Работа частично финансировалась за счет гранта РФФИ 18-04-00622-А и гранта Правительства РФ (договор № 14.W03.31.0015 от 28.02.2017).